

Joel Vesivalo

OFFSET-MITAN VAIKUTUKSET AUTON HALLITTAVUUTEEN

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
2015

OFFSET-MITAN VAIKUTUKSET AUTON HALLITTAVUUTEEN

Vesivalo, Joel
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Huhtikuu 2015
Ohjaaja: Teinilä, Teuvo
Sivumäärä: 27
Liitteitä: 0

Asiasanat: raideväli, ohjauskulma, joustintuki, alatukivarsi, pyörännapa, sortokulma

Tämä opinnäytetyö käsittelee henkilöauton vanteen offset -mitan (ET-mitta) muutosta. Tämän mitan muuttaminen muuttaa auton raideväliä, joten sillä on suora yhteys auton hallittavuuteen ja ajokäyttöön. Opinnäytetyössä pyritään tutkimaan miten raidevälin muutos vaikuttaa alustan komponenttien kestävyys. Lisäksi tarkastellaan pyörän kiinnityksessä mahdollisesti tapahtuvia virheitä ja laiminlyöntejä, joilla voi olla vakavia seurauksia. Opinnäytetyö tehdään tilaajalleen Oy Ford Ab:lle yhteistyössä porilaisen jälleenmyyjän Auto Oy Vesa-Matin kanssa.

Työn tavoitteena on tarjota tilaajan käyttöön erilaisia argumentoinnin työkaluja lähinnä koulutus- ja tiedotuskäyttöön.

WHEEL OFFSET CHANGE EFFECTS FOR VEHICLE HANDLING

Vesivalo, Joel

Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Mechanical Engineering

April 2015

Supervisor: Teinilä, Teuvo

Number of pages: 27

Appendices: 0

Keywords: track width, the steering angle, the spring strut, supporting arm, wheel hub, drift angle

The purpose of this thesis was to investigate the change of wheel offset in passenger car and light commercial vehicles. Change in wheel offset change car's track width so it affects directly to the car ride behavior and steering manageability. This thesis aims to study how change in track width affects the sustainability of wheel suspension components. In addition under inspection are faults in wheel fastening occurring possible neglect and man made mistakes. These faults may have serious consequences.

This thesis is made for Oy Ford Ab in collaboration with Auto Oy Vesa-Matti. The aim of this thesis is to offer the customer use of variety of tools of argument for educational and informing situations.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
2	YRITYS.....	2
2.1	Ford Motor Company	2
2.2	Auto Oy Vesa-Matti.....	2
3	ALUSTAN KOMPONENTIT JA PYÖRÄN ASENTOKULMAT.....	3
3.1	Auton pyörä	3
3.1.1	Vanne	3
3.1.2	Rengas	4
3.2	Pyörän asentokulmat.....	5
3.2.1	Auraus	6
3.2.2	Keskiön kääntöetäisyys	7
3.2.3	Kääntöakselin asennot	7
3.2.4	Kääntövierintäsäde	8
3.2.5	Camber	8
3.2.6	Jousitettu- ja jousittamaton massa	9
4	VANTEEN KÄYTÖN TUTKIMINEN	9
4.1	MacPherson joustintuet.....	10
4.2	Taka-akseli rakenteet	11
4.3	Pyörän kiinnitys	12
4.4	Pyörän kiinnityksen tutkiminen	13
4.5	Ylikiristys.....	17
4.6	Vanteen massa	18
4.7	Solidworks -mallinnus	19
4.8	Vanteen ET-luvun vaikutus jarrulevyn toimintaan.....	24
4.9	Vanteiden vaikutus maalipintaan	25
5	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA	26
	LÄHTEET	28

1 JOHDANTO

Nykyaikaisten autojen tekniikan edelleen kehittyessä, on tärkeää, että tekninen tuki maahantuonnin ja jälleenmyyjän välillä toimii saumattomasti ja tehokkaasti. Tämä edellyttää molemminpuolista kanssakäymistä ja kommunikointia päivittäisessä yhteydenpidossa. Aihe-ehdotus opinnäytetyöhöni tuli Oy Ford Ab:ltä, jonka henkilökunta on kohdannut työssä esitettyjä ongelmia.

Vanteiden vaihto on helppo, nopea ja suhteellisen edullinen tapa muuttaa auton ulkonäköä ja se on myös yleisin. On ymmärrettävää, että kaikki autonvalmistajat vaativat autoissaan käytettävän vain heidän hyväksymiään rengas-vanne yhdistelmiä eli pyöriä. Muistettava on, että keskimääräisen auton suorituskyky on kasvanut huomattavasti viimeisen 15 vuoden aikana, jolloin pyörille asetetut vaatimukset ovat luonnollisesti kasvaneet. Nämä vaatimukset on ehdottomasti otettava huomioon silloin kun valmistajan autolle myöntämä takuu on voimassa. Kokemus kuitenkin osoittaa, että välttämättä aina näin ei ole. Radikaalisti vääränlaisten pyörien asentaminen autoon muuttaa sen ajo-ominaisuuksia usein epäedulliseen suuntaan. Lisäksi se saattaa aiheuttaa auton lukuisten erilaisten komponenttien ennenaikaisen kulumisen ja sitä kautta rikkoutumisen.

Opinnäytetyön tavoitteena on tutkia pyörän vaihtamisen vaikutuksia Ford -merkkisiin henkilö- ja hyötyajoneuvoihin. Tutkimusmenetelminä käytetään pääasiallisesti keinoja, jotka ovat mahdollisia toteuttaa autokorjaamo-olosuhteissa. Opinnäytetyön tuloksien olisi tarkoitus tarjota työkaluja, lähinnä argumentoinnin tueksi tilaajalleen.

2 YRITYS

2.1 Ford Motor Company

Ford Motor Company on Yhdysvalloissa vuonna 1903 perustettu, nykyään globaali auton valmistaja. Yhtiö otti jo alkutaipaleellaan käyttöön kokoonpanolinjan tuotteidensa valmistamiseen, joka johti valtavaan vaikutukseen moderniin kulttuuriin. Nykyään yhtiö valmistaa autoja tuotemerkeillä Ford ja Lincoln. (Ford Motor Company:n www-sivut 2014)

Ford -autoja Suomeen maahantuo Oy Ford Ab, joka Suomen mallisto käsittää henkilöautoja kaikissa kokoluokissa sekä erilaisia hyötyajoneuvoja. Isoimpien Ford Transit mallien kokonaismassa on yli 3500 kg, joten ne rekisteröidään Suomessa kuorma-autoiksi. (Oy Ford Ab:n www-sivut 2014)

2.2 Auto Oy Vesa-Matti

Auto Oy Vesa-Matti on perustettu vuonna 1974 Harjavallassa. Liikkeen myyntipiiriin kuuluivat aluksi Harjavalta, Kokemäki, Kiukainen ja Köyliö. Porin toimipiste on avattu 1985 ja se on alusta asti toiminut nykyisellä paikallaan Puinnintiellä. Harjavalan toimipiste suljettiin vuonna 1992 (Helander 1999, 140, 150). Yhtiön toimialaan kuuluvat uusien Ford-autojen myynti ja jälkimarkkinointipalvelut sekä käytettyjen autojen myynti. Vuonna 2014 yritys työllistää 20 henkilöä. (Auto Oy Vesa-Matin www-sivut 2014)

3 ALUSTAN KOMPONENTIT JA PYÖRÄN ASENTOKULMAT

3.1 Auton pyörä

Henkilöauton pyörä koostuu vanteesta ja sen ympärillä olevasta renkaasta. Pyörän asennoilla on kriittinen merkitys auton ajonaikaiseen käyttäytymiseen ja hallittavuuteen. Pyörän suunnittelulle asetettavat pääasialliset tavoitteet ovat hyvä rakennelujuus, jarrujen jäähtyminen, pyörän hyvä keskittyminen navalle, hyvä korroosionkestävyys, pieni ilmanvastus sekä näyttävä muotoilu. (Autoteknillinen taskukirja 2003, 690.)

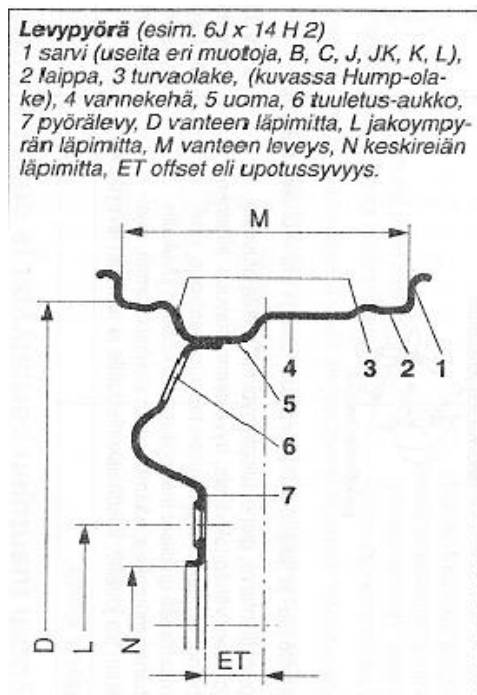
3.1.1 Vanne

Nykyaikaisen henkilöauton vanteet valmistetaan sarjatuotantona yleensä teräslevystä tai erilaisista alumiiniseoksista. Kevytmetallivanteiden hinnat ovat viime vuosina laskeneet merkittävästi, jolloin niitä on alkanut näkyä ensiasennusvanteina myös halvemman hintaluokan henkilöautoissa. Alumiinia käytetään vannemateriaalina valuina ja takeina. Alumiinivanne on kevyt ja säilyttää mittatarkkuutensa hyvin. Seostamalla materiaalia voidaan alumiinivanteesta saada erittäin kestävä esimerkiksi autourheiluun. (Autoteknillinen taskukirja 2003, 688.)

Teräslevystä valmistettu pyörä sietää suuriakin muodonmuutoksia murtumatta (esimerkiksi osumia jalkakäytävän reunukseen). Pitkäaikaisessa käytössä vanteen mittatarkkuus kärsii muodon muutosten ja jännitysten poistumisen myötä. Lisäksi teräsvalteet ruostuvat muun muassa tiesuolalle altistamisen johdosta. (Autoteknillinen taskukirja 2003, 688.)

Vanteessa tulee olla mitoitusmerkintöjen lisäksi vanteen valmistajan nimi tai tunnus ja vanteen valmistusajankohta. Esimerkki mitoitusmerkinnästä: "6,5J x 15 2H", jolloin vanteen leveys on 6,5 tuumaa, sarvityyppi J, läpimitta 15 tuumaa sekä vanne on varustettu kaksoishumpilla. Lisäksi vanteen pulttijako on yleensä merkitty vanteeseen. 4 x 108 ja 5 x 108 ovat yleisesti käytettyjä pulttijakoja Fordeissa. Tällöin pyörän pulttien reiät (4 tai 5 kpl) sijaitsevat kehällä, jonka halkaisija on 108 mm. Vanteen ET (tai offset) -luku ilmoittaa vanteen kiinnityspinnan etäisyyden vanteen keskilinjasta. ET-

luvun ollessa positiivinen on vanteen kiinnityspinta keskilinjän ulkopuolella (kuva 1). Tavallisissa henkilöautoissa ET-luku on yleensä positiivinen. On huomioitavaa, että vanteen halkaisija ja leveys ilmoitetaan tuumina kun taas muut mitat ovat millimetreinä. (Autoteknillinen taskukirja 2003, 688.)



Kuva 1. Vanteen mitoitus (Autoteknillinen taskukirja 2003, 688.)

3.1.2 Rengas

Vanteille asennettavan renkaan tulisi olla auton valmistajan suositusten mukainen. Autolle tyyppihyväksytyt pyöräkoot ovat merkitty auton rekisteriotteeseen. Lisäksi ne yleensä löytyvät omistajan käsikirjasta. Muutettu rengaskoko on muutoksastettava, mikäli renkaan leveys poikkeaa 30mm ja vanteen koko yhden tuuman. Renkaan koko on luettavissa renkaiden kyljestä. Renkaan kyljestä on myös luettavissa valmistuspaikka ja valmistusajankohta. (Nokian Renkaat Oyj:n www-sivut 2014.)

Esimerkki renkaana 205/55 R 16 94 V XL:

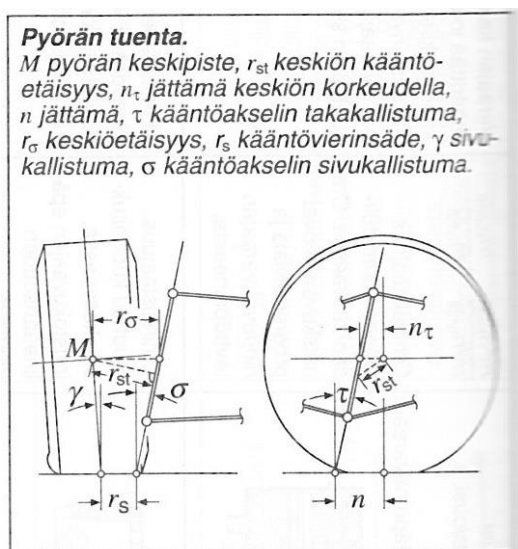
205	renkaan leveys millimetreinä
55	renkaan profiilisuhde. Renkaan korkeus on 55 prosenttia leveydestä
R	renkaan rakenne, vyörengas
16	vanteen koko, halkaisija tuumissa
94	kuormitusluokka, 94= 670kg / rengas
V	nopeusluokka, maksiminopeus. V= 240km/h
XL	extra load, korotettu kuormitusluokka

Nopeusluokka tarkoittaa suurinta renkaalle sallittua ajonopeutta. Suositeltua alempi nopeusluokka saattaa huonontaa ajo-ominaisuuksia ja korkeampi nopeusluokka yleensä vähentää ajomukavuutta. EU-direktiivi määrää, että renkaan nopeusluokan on vastattava auton huippunopeutta. (Nokian Renkaat Oyj:n www-sivut 2014)

Renkaan vierintävastus on käsite, joka tarkoittaa renkaan vierieessä kudosmuutoksesta sekä renkaan vaimennusominaisuuksista syntyvää vastusta. Mitä pienempi vierintävastus on, sitä kevyemmin rengas vierii. Nykyään renkaiden vierintävastuksesta aiheutuva osuus henkilöauton kokonaispolttoaineen kulutuksesta on noin 13 - 18 prosenttia. Moottorin tuottamasta tehosta tarvitaan tämän suuruinen prosentti renkaan vierintävastuksen voittamiseen. Rengasvalmistajien tähtäimenä onkin edellä mainituista syistä kehittää entistä pienemmän vierintävastuksen renkaita. (Tuononen & Koisaari 2010, 21 - 22.)

3.2 Pyörän asentokulmat

Pyöräntuennan tarkastelu on rajattu Fordeissa yleisimmin käytettyihin tyyppeihin. Kaikissa Suomessa myytävissä Ford -henkilöautoissa on Mac-Pherson tyyppinen etujousitus, jota käsitellään tarkemmin kappaleessa 4. Etupyörät kääntyvät kääntöakselin ympäri, joka muodostuu pyörän tuennan nivelpisteiden kautta kulkevasta kuvitellusta akselist. Taka-akselina käytetään erillisjousitettua tai yhdysheilurituenta. Ford Transit -malleissa on jäykkä lehtijousin tuettu taka-akseli. (FordEtiksen www-sivut 2014)



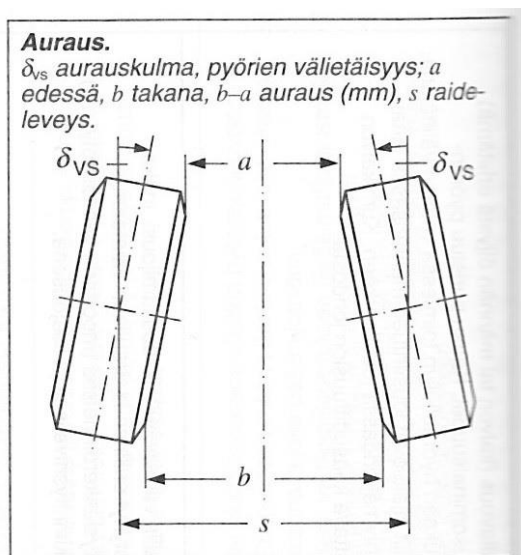
Kuva 2. Pyöräntuennan mitoitus (Autoteknillinen taskukirja 2003, 688.)

3.2.1 Auraus

Auraus (δ_{vs}) syntyy auton pituusakselin ja renkaan keskiviivan välisestä kulmaerosta kun etäisyys vanteen sarvien välillä akselin etupuolella on suurempi kuin takana. Auraus kompensoi pyöräntuentakomponenttien joustavan kiinnityksen aiheuttamaa kulmavirhettä, joka syntyy pääasiassa pituussuuntaisten voimien vaikutuksesta. Puhuttaessa auraavasta akselistä on kuvan mittojen a ja b erotus positiivinen. Akselin ollessa harituksella on kuvan mitta b pienempi kuin a . (Autoteknillinen taskukirja 2003, 684.)

Auraus on aina säädettävissä korjaamo-olosuhteissa pyörien mittauslaitteiston avulla. Sääto tapahtuu muuttamalla raidetankojen pituutta. Automallikohtaisesti on myös mahdollista säätää taka-akselin pyörien aurausta. (Hyvärinen 2006, 327.)

Ajettaessa kaarteeseen autolla, jonka pyörät auraavat, on pyörään vaikuttava sivuttaisvoima valmiiksi kaarteeseen keskustaa kohti. Jos taas pyörät harittavat, on ulomman pyörän sivuttaisvoima poispäin kaarteesta, jolloin pyörän täytyy ensiksi kääntyä suoraan, jonka jälkeen se alkaa kääntää autoa. Pyörien ollessa aurauksella reagoi ohjaus muutoksiin herkemmin. Liian suuri auraus tai haritus lisää vierintävastusta ja siten renkaan kulumista keskeltä minkä vuoksi yleensä aurauksien asennusarvot ovat noin 0,5 asteen luokkaa. (Tuononen & Koisaari 2010, 64.)



Kuva 3. Auraus (Autoteknillinen taskukirja 2003, 684)

3.2.2 Keskiön kääntöetäisyys

Keskiön kääntöetäisyys (r_{st}) (kuva 2) on lyhin etäisyys pyörän keskipisteestä pyörän kääntöakseliin. Etäisyys vaikuttaa vetovoimien ohjausvivustoon vaikuttamaan momenttiin. Vanteen ET-luvun muutoksella on mahdollista muuttaa tätä etäisyyttä. (Autoteknillinen taskukirja 2003, 688.)

Jättämä

Jättämä (n) (kuva 2) on renkaan kosketuskuvion keskipisteen ja kääntöakselin jatkeen välinen sivuprojektioetäisyys. Tämä vaikuttaa palauttavaan momenttiin suoraan ajettaessa sekä ohjausmomenttiin kaarrettaessa. Jättämä keskiön korkeudella (n_t) on pyörän keskipisteen sivuprojektioista mitattu etäisyys pyörän kääntöakselista. Tämä vaikuttaa jättämään riippumatta kääntöakselin takakallistuman suuruudesta. (Autoteknillinen taskukirja 2003, 688.)

3.2.3 Kääntöakselin asennot

Momenttivarret määrittävät kääntöakselin sijainnin ja asennon pyörään nähden. Renkaan kosketuspinnassa tiehen syntyvät voimat vaikuttavat ohjauslaitteisiin näiden

kautta. Kääntöakselin sivukallistuma eli KPI-kulma (king pin inclination) on kääntöakselin kulma sisäänpäin auton poikittaisessa projektiossa. Se vaikuttaa ohjauksen palautusmomenttiin yhdessä pyörän jättämän kanssa. KPI-kulmalla voidaan pienentää pyörän kääntösädetä. Tällöin maantien ja renkaan kosketuspinnassa syntyvien voimien momenttivarsi lyhenee. Tämä aiheuttaa tiestä ohjauspyörään säteilevien iskujen heikkenemisen. KPI-kulma auttaa myös ohjauksen palautuksessa keskisuurilla kääntökulmilla, koska auton keula nousee hieman pyöriä käännettäessä. Ohjauspyörästä päästettäessä auton keulan paino oikaisee pyörät. Tosin kääntökulmien ollessa lähellä suurinta mahdollista arvoaan palautuminen huononee. (Autoteknillinen taskukirja 2003, 685, 688; Hyvärinen 2006, 294.)

Kääntöakselin takakallistuma eli caster (t) (kuva 2) on sivuprojektioista mitattu takakallistuma. Se aikaansaa ohjauslaitteisiin pyörän palautusmomenttia myös pienellä jättämällä keskiön kohdalla. (Autoteknillinen taskukirja 2003, 685.)

3.2.4 Kääntövierintäsäde

Kääntövierintäsäde (r_s) (kuva 2) on renkaan kosketuspisteen keskiön poikittaisprojektiotäisyys pyörän kääntöakselin jatkeen tiekohtauspisteestä. Se on negatiivinen kun pyörän kosketuspiste sijaitsee kääntöakselin kohtauspisteen sisäpuolella. Pitkittäisvoimat aikaansaavat yhdessä kääntövierintäsäteen kanssa akselistoon pitkittäisliikettä ja ohjauslaitteisiin ohjaustuntoa palautusmomentin vaihtelun muodossa. (Autoteknillinen taskukirja 2003, 685.)

3.2.5 Camber

Sivukallistuma, camber (γ) (kuva 2) on pyörän sivusuuntainen kallistuma ajoneuvon pitkittäispystytasoon nähden. Sen arvo on sovittu negatiiviseksi kun pyörien keskinäinen etäisyys on yläreunoista mitattuna pienempi kuin alareunoista mitattu eli kun pyörä on kallistunut auton koria päin. Se vaikuttaa renkaan sivuvoimien syntymiseen vierimistapahtuman aikana. (Autoteknillinen taskukirja 2003, 685.)

Positiivisella camber -kulmalla (pyörä kallistuu ulospäin autosta) pyörä pyrkii vierimään autosta ulospäin (kartiovierintäperiaate). Auto kuitenkin pakottaa pyörän kulkemaan suoraan, jolloin renkaaseen syntyy sortokulma. Tämä aiheuttaa camber-sivuvoiman suuntautumisen ulospäin autosta. Erisuuruiset positiiviset camber-kulmat aiheuttavat auton puoltamista suuremman kulman puolelle. (Autoteknillinen taskukirja 2003, 685.)

3.2.6 Jousitettu- ja jousittamaton massa

Auton massa jaetaan jousitettuun ja jousittamattomaan. Jousitettuun massaan lukeutuvat kaikki komponentit, jotka liikkuvat jousen varassa esimerkiksi kori, moottori ja vaihteisto. Jousittamattomaan massaan kuuluvat pyörät, pyörien navat ja ne jarrujen osat, jotka liikkuvat pyörien mukana. Jouset, iskunvaimentimet, tukivarret ja vetoakselit kuuluvat osittain sekä jousitettuun että jousittamattomaan massaan. (Hyvärinen 2006, 259.)

Kun pyörä kohtaa ajettaessa esteen se nousee ylöspäin puristaen samalla joustaa kokoon ja jousi puolestaan nostaa auton koria ylöspäin. Auton kori vastustaa nousemista omalla painollaan, joten nousun voimakkuus riippuu paljolti jousen jäykkyydestä ja jousittamattomasta massasta eli pyörän ja sen osien painosta. Jousittamattoman massan suurentaminen aiheuttaa ajokäytöksen ja matkustusmukavuuden huononemisen sekä suurentaa pyöräntuennan ja ohjauslaitteiden niveliin kohdistuvia rasituksia. (Mauno 1991, 30)

4 VANTEEN KÄYTÖN TUTKIMINEN

Kaikissa Suomessa myytävissä Ford -henkilöautoissa on MacPherson -tyyppinen etuakselirakenne. L tai kolmio -mallinen alatukivarsi on kiinnitetty kahdesta pisteestä auton apurunkoon ja kolmas piste on nivelletty pyörän napaan. Taka-akselina käytetään A- ja B- (pienet autot) segmenttejä edustavissa Ford Ka, Ford Fiesta ja Ford B-Max -autoissa puolijäykkää yhdysheilurituenta. C- ja C/D- (alempi- ja ylempi keskiluokka) segmenttejä edustavat Ford Focus, Ford C-Max, Ford Mondeo, Ford S-Max ja Ford

Kuga. Näiden autojen taka-akselit ovat erillisjousitettuja heiluriakselistoja, jotka ovat hyvin pitkälti toistensa kaltaisia. Akselistojen komponentit eroavat toisistaan eri korimallien ja moottorivaihtoehtojen osalta. Ford Kuga on saatavilla myös nelivetoisena mallina, jolloin myös taka-akselilla on tasauspyörästö ja vetoakselit. Ford Transiteissa on lehtijousin tuettu taka-akseli joko ei-vetävänä tai vetävänä.

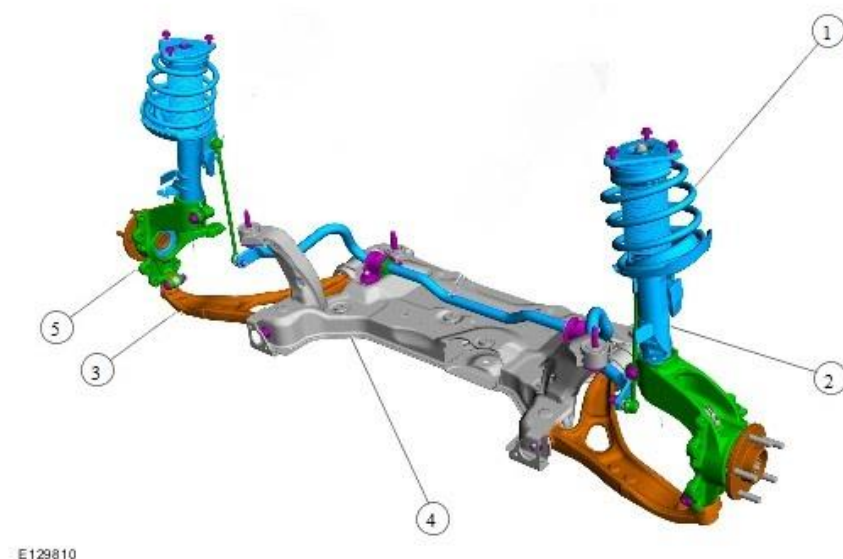
Vuonna 2013 Fordin kolme myydyintä automallia olivat Focus, Fiesta ja Mondeo. Tämän takia tarkastelun kohde on kyseisissä automalleissa. Lisäksi tarkastellaan Ford Transit hyötyajoneuvoja. (Autoalan tiedotuskeskuksen www-sivut 2014)

4.1 MacPherson joustintuet

Jousitustyyppi on saanut nimensä keksijänsä, Earl S. MacPhersonin, mukaan. MacPherson työskenteli Iso-Britannian Fordilla insinöörinä ja ensimmäinen jousitus toteutettiin sikäläisiin Ford-malleihin, jotka olivat Consul ja Zephyr Six, vuonna 1950. On huomattava, että nykyisin käytössä olevat rakenteet eivät ole MacPhersonin alkuperäisen patentin mukaisia vaikka periaate onkin ennallaan. (Hyvärinen 2006, 217.)

Joustintuki on teleskooppimainen ja sen sisällä on heilahduksenvaimennin. Heilahduksenvaimennin voi olla irtonainen patruuna, joka asennetaan joustintuen sisään. Kuitenkin nykyään yleisesti heilahduksenvaimennin toimii itsessään joustintukena. Jousi voi sijaita keskeisesti tai epäkeskeisesti heilahduksenvaimentimen pystyakseliin nähden. Olka-akseli kiinnittyy joustintuen alapäähän. Yleisesti ottaen tällainen jousitusrakenne on käytössä ohjaavalla akselilla, mutta sitä voidaan käyttää myös taka-akselistojen yhteydessä. (Hyvärinen 2006, 217)

Joustintukijousituksen tärkeimpiä etuja ovat pieni tilantarve ja edulliset valmistuskustannukset. Eduiksi voidaan myös katsoa vähäinen tukivarsien määrä, helppo asennettavuus tuotannossa ja korjaustöitä suoritettaessa. Toisaalta sivukallistuman muutokset ovat kinemaattisesti rajalliset. Auton rakenne aiheuttaa rajallisen tilan joustintuen kokonaiskorkeudelle sekä renkaan ja vanteen leveydelle. (Autoteknillinen taskukirja 2003, 687.)

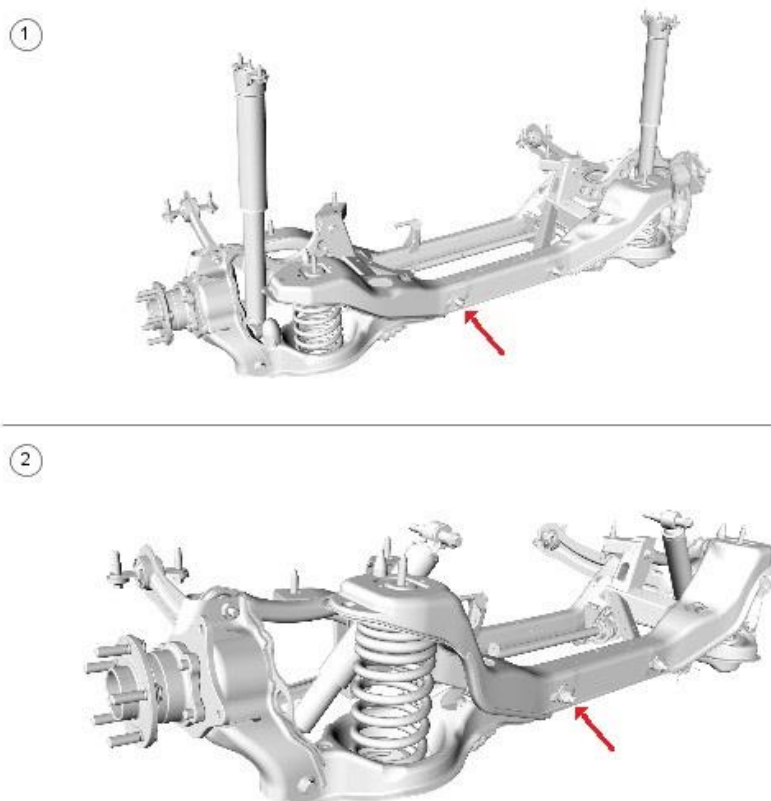


Kuva 4. Ford Focus etuakselisto (FordEtiksen www-sivut 2014)

Kuvassa on Ford Focus -malleissa käytetty etuakselisto, joka on rakenteeltaan samankaltainen muissakin Ford -malleissa. Jousi (1) ja iskunvaimennin muodostavat yhdessä joustintuen. Sen yläpää on laakeroitu ja se on kiinnitetty auton koriin ruuviliitoksella. Alapäästään joustintuki on kiinnitetty olka-akseliin (5), johon pyörännapa on laakeroitu. Alatukivarsi (3) yhdistää pallonivelellä olka-akselin auton apurunkoon (4). Alatukivarsi on laakeroitu kumiholkein, jotka sallivat tukivarren tehdä auton pituusakselin säteen suuntaista liikettä. Pyörän asentokulmista ainoastaan auras on säädettävissä korjaamo-olosuhteissa. Sääto tapahtuu muuttamalla raidetankojen pituutta (eivät kuvassa).

4.2 Taka-akseli rakenteet

Ford Focus ja Mondeo -malleissa käytettävä taka-akselisto sallii takapyörien toisistaan riippumattomat liikeradat. Kuvassa 7 punainen nuoli osoittaa poikittaisen tukivarren kiinnitysruuvia. Pyörien aurasikulmaa voidaan säätää tästä epäkeskoruuvista. Farmarimallin heilahduksen vaimentimet ovat kallistettu sisäänpäin tavaratilan vapauttamiseksi.



E132714

Kuva 5. Ford Focus taka-akselistot sedan (1) ja farmari (2) (FordEtiksen www-sivut 2014)

4.3 Pyörän kiinnitys

Puutteellinen pyörän kiinnitys aiheuttaa vaaratilanteen ajoneuvossa matkustajille sekä muille tiellä liikkujille. Pyörän kiinnityksessä on mahdollista tehdä virheitä vaikka käytetty vanne ja mutterit olisivatkin oikeanlaisia. Pyörän kiinnitykseen käytettävät mutterit on kiristettävä annettuun kiristysmomenttiin. Liian pieni kiristysmomentti aiheuttaa pyörien löystymisen ja irtoamisen. Tarpeettoman suuri kiristysmomentti vaurioittaa mutterin suojakupua ja rasittaa pyörän pulttia. Lisäksi mahdollisen varapyörän vaihtaminen tienpäällä hankaloituu. Vääränlaisen pyörän mutterin käyttö johtaa pyöränpultin katkeamiseen, mikäli pultti pääsee pohjaamaan umpinaiseen mutteriin liiallisen kiristyksen seurauksena. Mikäli mutterin vastinpinnan kartio on erilainen vanteen vastaavaan, vaurioittaa se vannetta.

Pyörän irtoamisesta aiheutuvista korjaus- ja muista kuluista vastaa pyörän asentaja. Merkittävä seikka on ammattikäytössä olevan ajoneuvon (taksi, poliisiauto) seisonta-aika, joka tulojen menetyksen muodossa voi koitua varsinaisia korjauskustannuksia kalliimmaksi.

4.4 Pyörän kiinnityksen tutkiminen

Pyörän kiinnityksen tutkimuksiin tarvittava vanne sekä pyörän napa saatiin uudeh-kosta Ford Mondeosta. Vanteesta leikattiin sopiva viipale, jotta pyöränmutterin kartion kiinnitys olisi mahdollista valokuvata. Jarrulevystä sorvattiin jarrupinta irti esityksen selkeyttämiseksi. Selkeyden vuoksi vanteen halkaisupinta on maalattu siniseksi ja jarrulevyn osa punaiseksi. Tarkoituksena on esittää miten vääränlainen pyöränmutterin kartio koskettaa vanteen vastaavaa. Alkuperäiselle vanteelle sopimattomat mutterit valikoitiin käytössä olleesta valikoimasta. Muttereiden ylikiristämällä voidaan tutkia vanteisiin aiheutuvia vaurioita sekä todeta pyörännavassa olevien pyöränpulttien kestävyys.

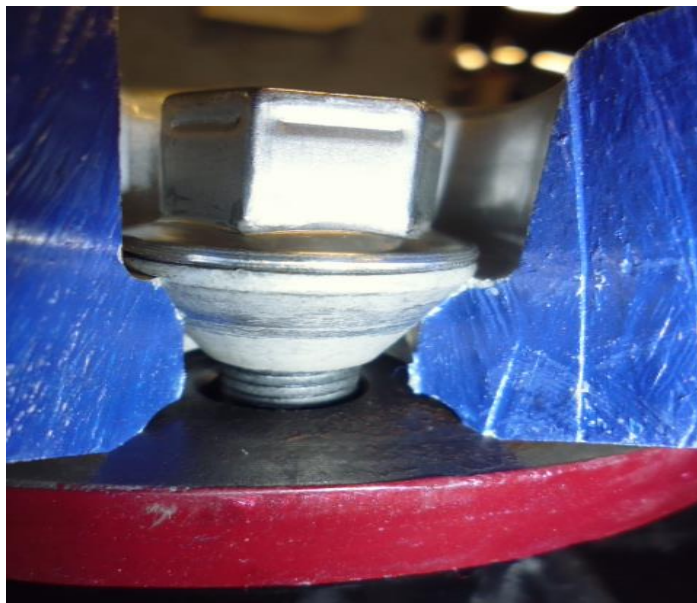


Kuva 6. Koejärjestely

Koejärjestely käy ilmi oheisesta kuvasta. Kuvassa 7 on nähtävissä oikeanlaisen mutterin kartiomuodon tärkeys pyörän keskitykselle pyörän napaan.

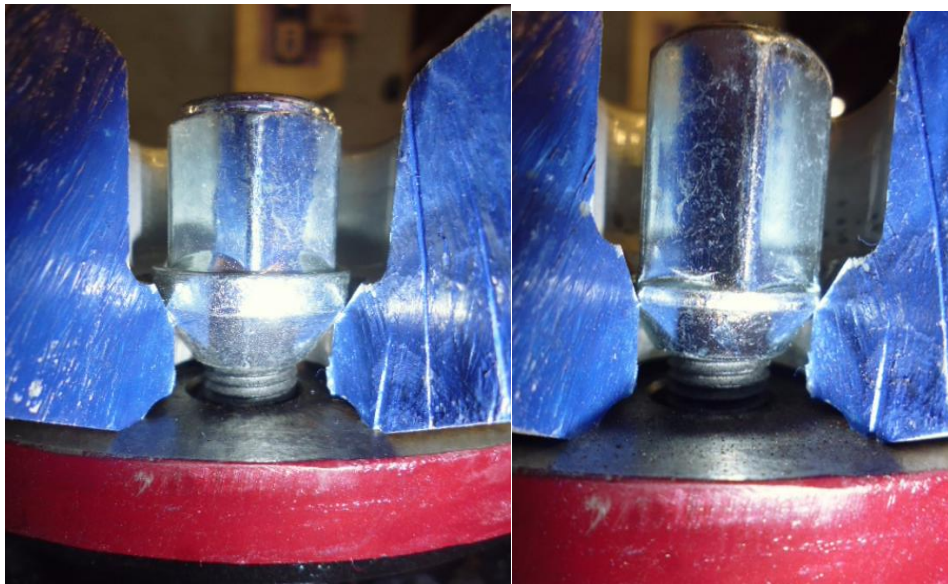


Kuva 7. Lähikuva vanteen keskityksestä

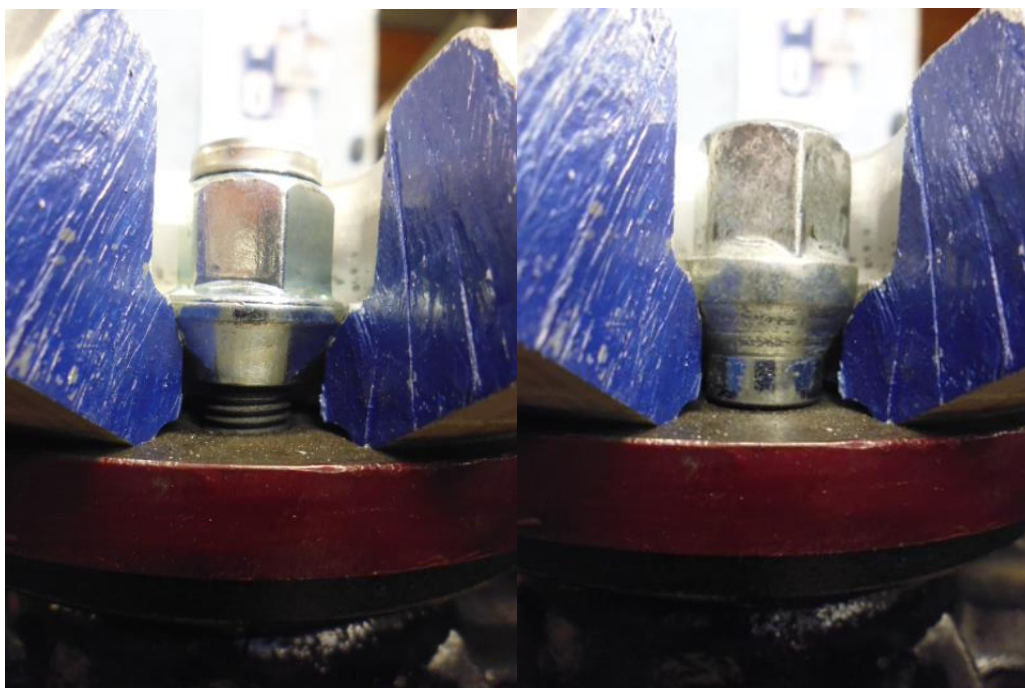


Kuva 8. Oikeanlainen pyöränmutteri vanteen kiinnitykseen

Kuvassa yllä vanne on kiinnitetty asianmukaisella pyöränmutterilla. Mutterin kartio istuu virheettömästi vanteen vastinpintaan. Seuraavat kuvat esittävät kiinnitystä vääränlaisilla pyöränmuttereilla. Kaikilla näillä muttereilla kiinnitys ja keskitys jäävät puutteelliseksi erilaisen kartion kulman vuoksi.

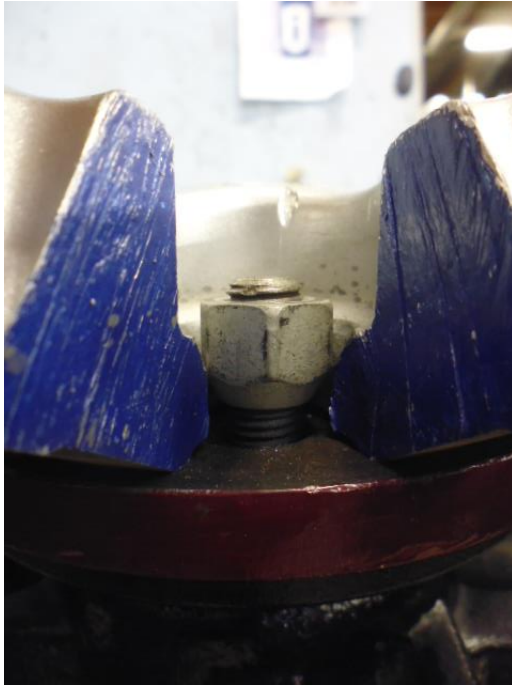


Kuva 9. Vääränlaisia pyöränmuttereita



Kuva 10. Vääränlaisia pyöränmuttereita

Kuvan 10 oikealla oleva mutteri pohjaa jarrulevyn pintaan, mutterin kartio ei kosketa vannetta, joten vanne jää heilumaan pyörännapaan. Mutterin ylikiristäminen katkaisee pyöränpultin.



Kuva 11. Teräsvanteen pyöränmutteri kevytmetallivanteessa

Kuvassa 11 on esitetty kiinnitys teräsvanteen mutterilla. Mutteri ei koske käytännössä lainkaan vanteen kartiopintaa, jonka seurauksena pyörä irtoaa.



Kuva 12. Vanteen kartiopintaan on tullut jälki

Kuvassa punainen nuoli osoittaa vanteen kartiopintaan tulevaa jälkeä, mikä on muodostunut vääränlaisen mutterin käytön seurauksena.

4.5 Ylikiristys

Tehty tutkimus osoitti, että pyörännavassa olevaan pyörän kiinnityspulttiin ei aina ole merkitty lujuusluokkaa. Tutkimukseen kuului korjattavana olevia autoja sekä varasavarastossa olevia pyörännapoja. Kokeessa käytettävään pyörännapaan lujuusluokka oli merkitty ja se oli hyvin yleisesti käytetty 10.9. Kokeessa käytetyissä alumiinivanteen muttereissa ei ollut lujuusluokkamerkintöjä, olettavasti sen takia, että niitä ei ole standardisoitu. Teräsvanteen muttereihin lujuusluokka oli merkitty, sen ollessa 10.

Standardi SFS-EN ISO 898-1 määrittää ruuvien lujuusluokan. Lujuusluokan 10.9 ruuvien vetomurtolujuus on $1040 - 1200 \text{ N/mm}^2$ ja 0,2 % -raja 900 N/mm^2 . (Valtanen 2010, 749.)

Kokeessa käytetyssä pyörännavassa pyörän kierteen koko on M12 x 1,5. Pyöränmuttereille annettu kiristysmomentti vaihtelee automallista riippuen 90 - 200 Nm. (Ford Etiksen www-sivut 2014) Tutkittavassa tapauksessa oikea momentti oli 140Nm. Kuvassa 12 näkyy vanteeseen tullut jälki, jonka vääränlaisen mutterin käyttö on aiheuttanut. Kiristyskokeella oli tarkoitus testata ruuvien ja mutterin kestävyyttä kiristettäessä pyörän muttereita paineilmakäyttöisellä mutterivääntimellä. Kyseinen työkalu on pääasiallinen työväline autokorjaamolla tehtävissä pyörän asennustöissä.

Kiristämiseen käytettiin kahden eri valmistajan paineilmakäyttöistä mutteriväännintä, karakoko oli yleisesti käytetty $\frac{1}{2}$ ". Kummankin valmistajan teknisistä tiedoista kävi ilmi, että mutterivääntimen suurin nimellinen kiristysmomentti oli sama 813Nm. Näillä kahdella vääntimellä kiristettiin kullakin samaa ruuvia viisi kertaa. Pyörän pultti kesti kiristykset katkeamatta lisäksi ruuvien ja mutterin kierteen säilyivät ehjänä. Alumiinivanteen kartioon ei tullut suuria silmin havaittavia muodonmuutoksia, tosin kiristuksen yhteydessä siitä irtosi materiaalia hienojakoisena pölynä. Pyöränmutterin ruostumattomasta teräksestä valmistettu koristehattu vaurioitui ensimmäisen kiristämisen jälkeen. Kiristystä olisi ollut myös mahdollista jatkaa tehokkaammalla vääntimellä, jonka karakoko on $\frac{3}{4}$ ", mutta tätä ei katsottu mielekkääksi. Suurella todennäköisyyden pyörännavan ruuvi olisi katkennut. Pyörän pultin venymä oli noin 0,2mm työn-
tömitalla mitattuna.

Kiristämiskokeen tarkoitus oli tutkia pyörän mutterin ja pultin kestävyyttä. Paineilma-toiminen mutterinväännin löystyttää mutterin suojahatun jo yhden käyttökerran jälkeen. Kuluneen hylsyvääntimen käyttö edesauttaa tätä huomattavasti.

4.6 Vanteen massa

Kappaleessa 3.2.6 on selostettu jousittamattoman massan vaikutuksia auton toimintaan. Automallikohtaisen suurimman vanteen massaa ei yllämainitusta syystä ole järkevää kasvattaa. Vanteen tai pyörän massat eivät käy ilmi korjaamokirjallisuudesta, auton käyttöohjekirjasta tai varaosaluettelosta. Myös tarvikevanteiden Internet- tai painetut luettelot eivät kyseistä tietoa tarjoa. Tutkimusta varten oli saatavilla lähes kaikki mahdolliset pyöräkoot eri Ford -malleihin. Mittaukseen käytettiin tavallista henkilövaakaa ja mitattiin täydellisiä pyöriä, ei pelkkää vannetta.

Ford Mondeon suurin valmistajan hyväksymä vannekkoko on 8J x 19 ET55, jolle hyväksytty rengaskoko on 235/40R19. Kyseistä pyöräkokoa käytettäessä on auton hammastankoon asennettava kääntymisen rajoitin. Kyseisen pyörän painoksi mitattiin 22,8 kg. Näin voidaan tehdä karkea oletus, että suurin valmistajan hyväksymä pyörän massa on 23 kg.

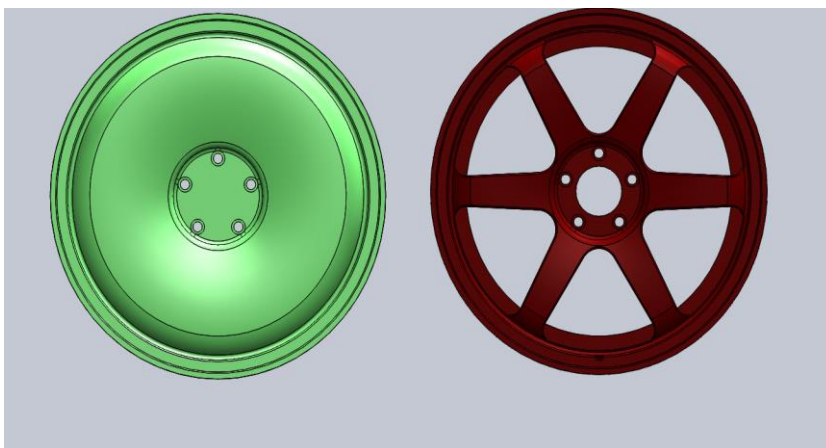
Ford Focusin suurin valmistajan hyväksymä vannekkoko on 8J x 18 ET50, jolle hyväksytty rengaskoko on 235/40R18. Kyseisen pyörän painoksi mitattiin 20,4 kg. Ford Fiestan suurin valmistajan hyväksymä vannekkoko on 7J x 17, jolle hyväksytty rengaskoko on 205/40R17. Kyseisen pyörän painoksi mitattiin 18,2 kg. Vanteiden tai pyörien massoja ei oikeastaan ilmoiteta missään kirjallisuudessa. Toisaalta massan vertailu alkuperäisen- ja tarvikevanteen välillä on suhteellisen helppoa, asiakkaan näkökulmasta ajatellen.

4.7 Solidworks -mallinnus

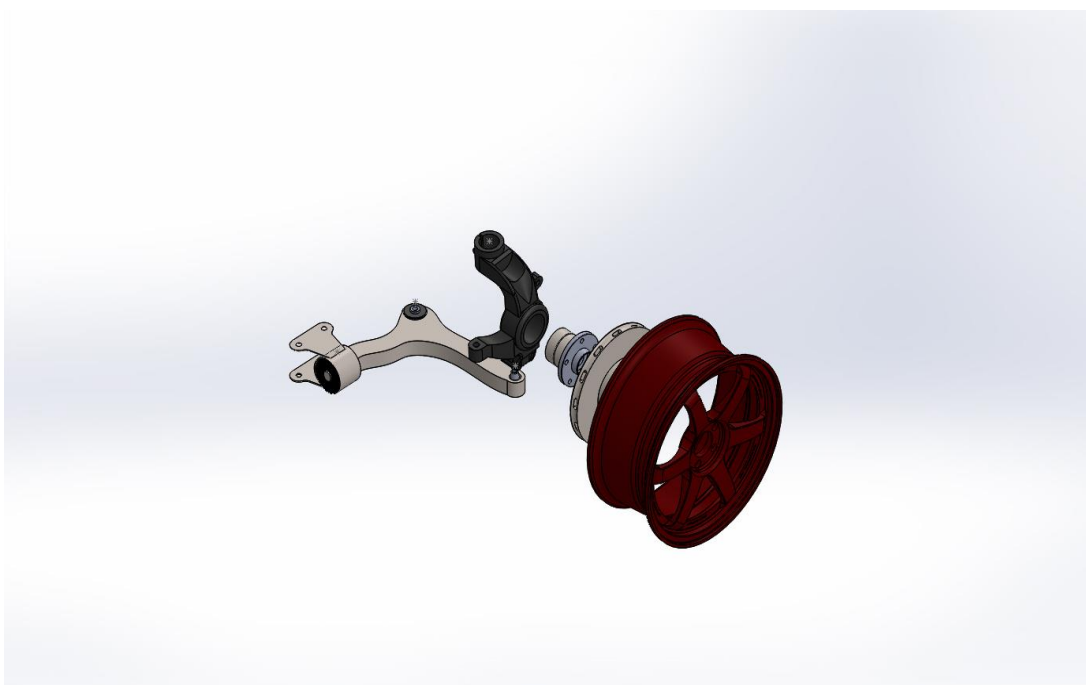
Pyörän tuennan komponentteja mallinnettiin Solidworks ohjelman avulla, tarkoituksena etsiä kuormituspisteitä pyöräntuennan komponenteissa. Kyseisen ohjelman käyttöön päädyttiin, koska se kuuluu kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelmaan. Mallikappaleina oli kolariautosta saadut olka-akseli, pyörännapa ja alatukivarsi. Kappaleet punnittiin ja ne mallinnettiin mahdollisimman tarkoin, mitä käytettävissä olleet mittalaitteet antoivat myöden. Vanteen malli löytyi Internetistä. Se on malli todellisesta myynnissä olevasta vanne-mallista. Tärkeää oli, että vanteen mallinnusta oli mahdollista muokata melko vapaasti. Vanteen mallia muokattiin niin, että saatiin kaksi vanteetta, joiden ET-luvut ovat 50 ja 26. Solidworksin FEM-laskentaohjelma ei kyennyt ”verkottamaan” alkuperäistä vanteen mallia. Tästä johtuen mallia oli yksinkertaistettava. Alkuperäinen ja yksinkertaistettu vanne näkyvät kuvassa 14. Vanteen päämitat ovat 7,5x19.



Kuva 13. Akseliston osia mallinnusta varten

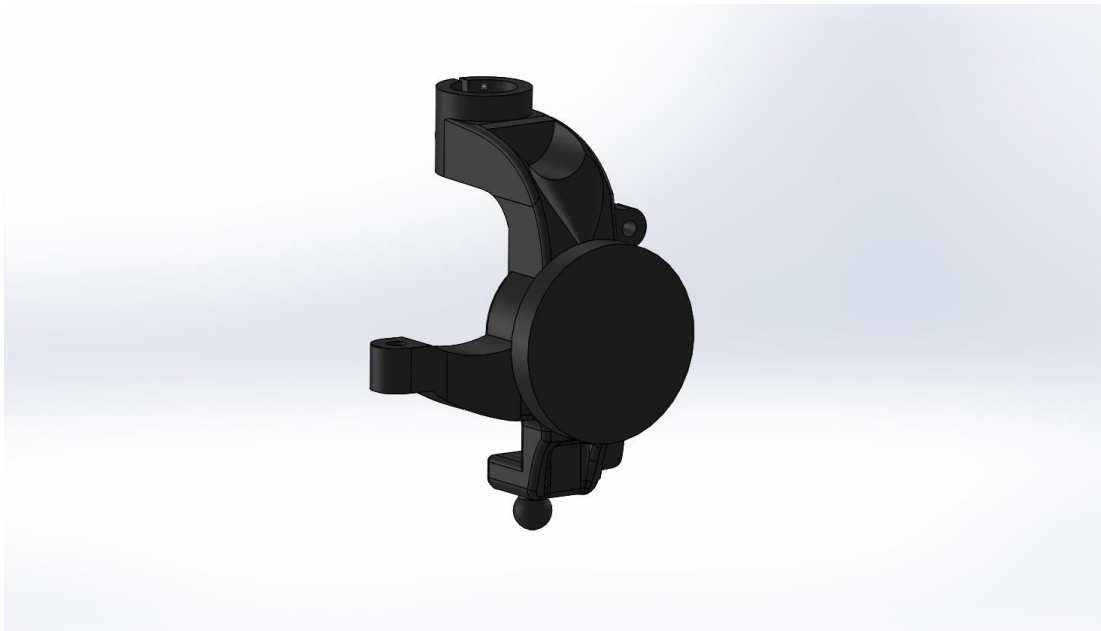


Kuva 14. Fem-laskentaa varten yksinkertaistettu vanne ja oikealla lähtökohta

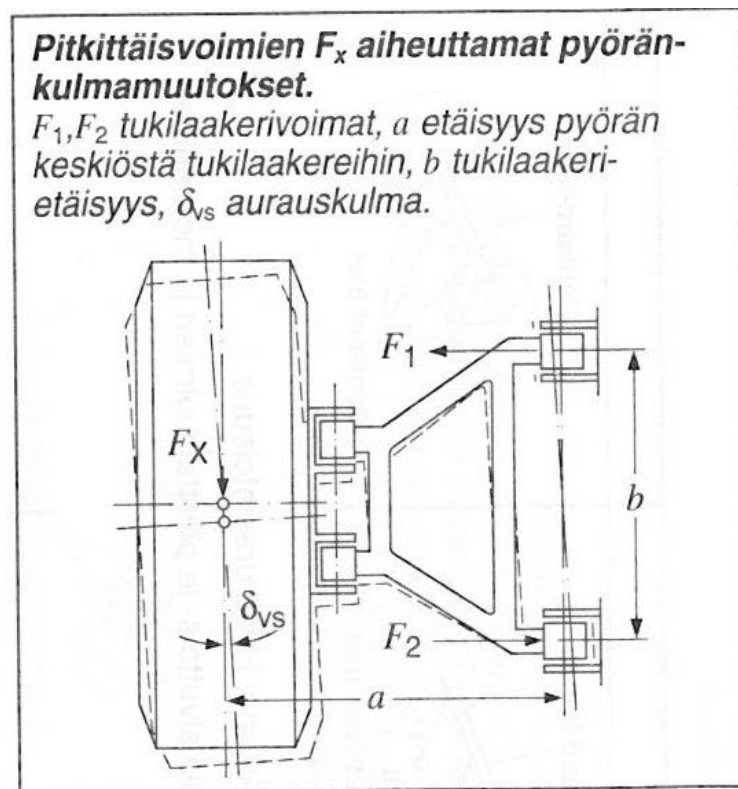


Kuva 15. Soliworks-ohjelmalla mallinnettuja akseliston osia.

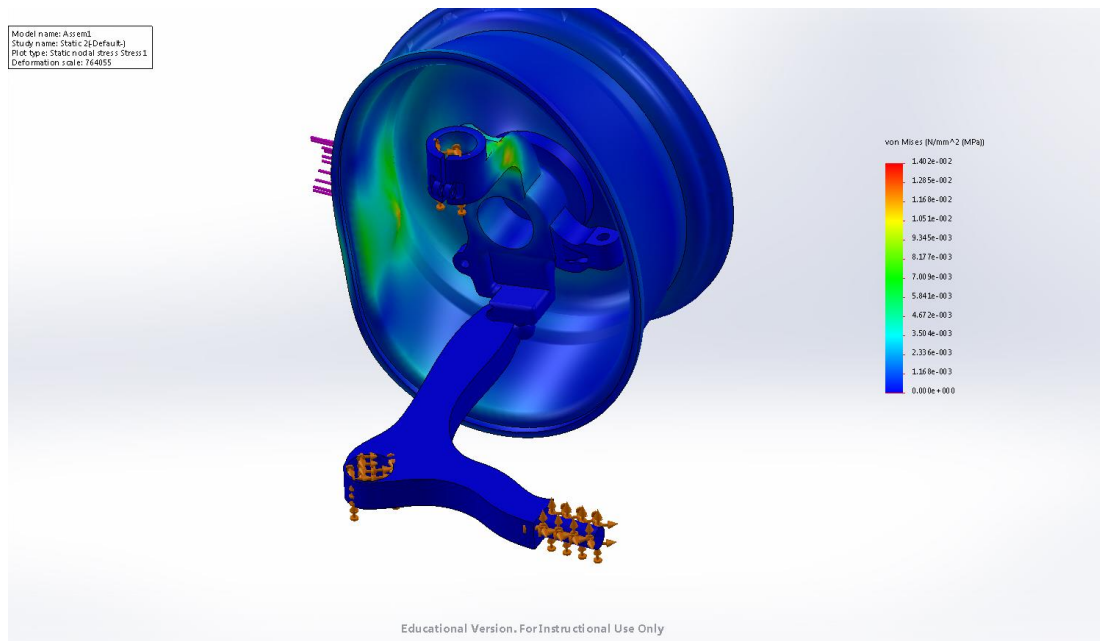
Komponenteista työläin mallinnettava oli olka-akseli muotoilunsa tähden. Kuvassa 15 on nähtävissä erikseen piirretty alapallonivel. Tämä osoittautui lujuuslaskennan toteutuksen kannalta ongelmalliseksi, joten pyörännapa ja alapallonivel mallinnettiin yhteiseksi valukappaleeksi.



Kuva 16. Yksinkertaistettu olka-akseli



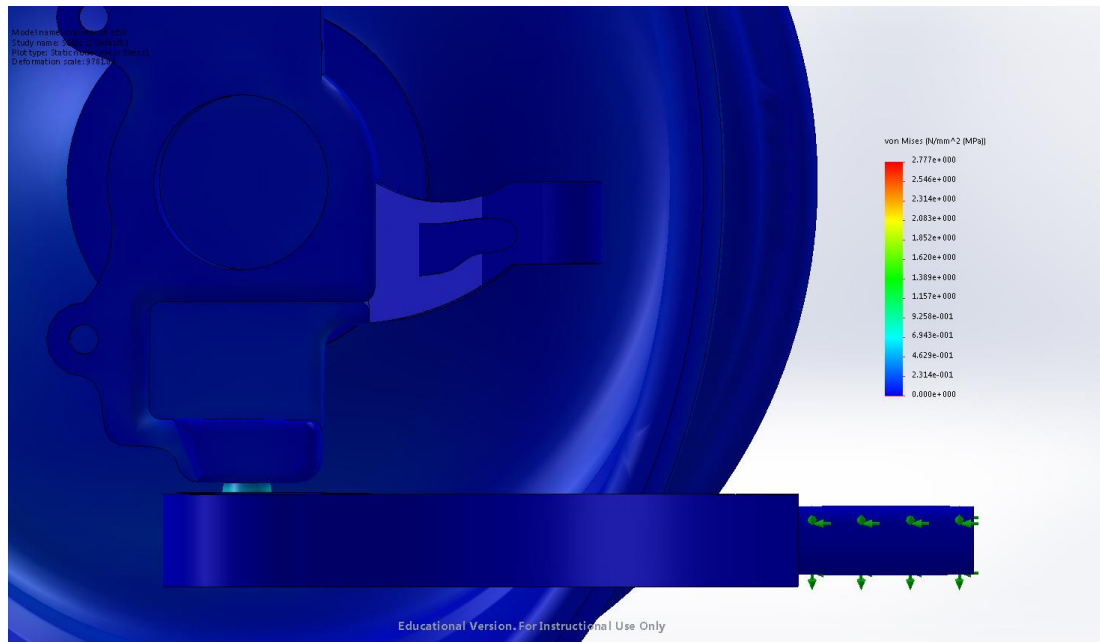
Kuva 17. Pitkittäisvoimien aiheuttamat pyöränkulmamuutokset (Autoteknillinen taskukirja 2003, 685.)



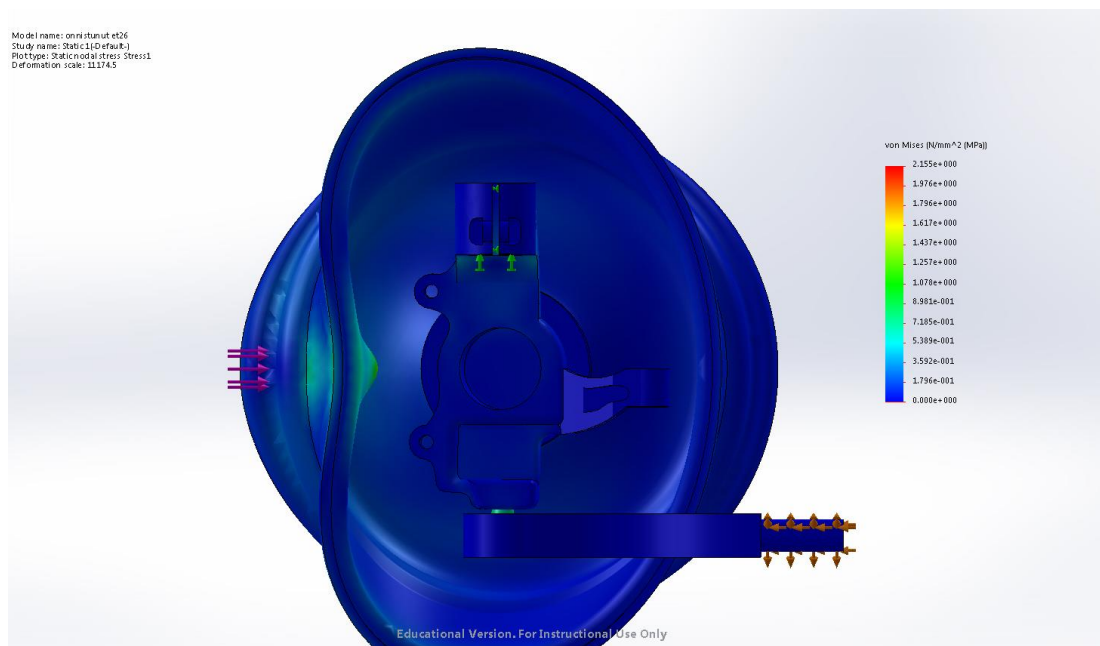
Kuva 18. Solidworks mallinnus pyöräntuennasta

Kuva 17 esittää pitkittäisvoimien aiheuttamia pyöräntuennan muutoksia. Pitkittäisvoimien komponentti (F_x) aiheuttaa vääntömomentin alatukivarren kiinnityspisteisiin, joka on suoraan verrannollinen tukilaakereiden etäisyydestä pyörän keskipisteeseen (a). Kuva havainnollistaa hyvin miten, vanteen ET-luvun pienentäminen siirtää vanteen keskilinjaa ulospäin, jolloin kuvan mitta a pitenee.

Kuva 18 esittää mallinnettua pyöräntuennaa. Mallissa tuenta on ruskeiden nuolien osoittamista kohdista ja punaiset nuolet osoittavat pitkittäisvoiman vaikutusta. Alatu- kivarren kumilaakeroinnit ovat poistettu kuvasta laskennan yksinkertaistamiseksi. Ku- vasta voi myös havaita, että vanne on painunut kasaan kuormituskohdasta, tämä on kuitenkin vain laskenta ohjelman ominaisuus jossa siirtymät esitetään aina ylikoroste- tusti. Mallinnukset on tehty ”staattisessa tilassa” tämä siksi, että kyseistä tapaa opis- keltiin eniten koulutusohjelmassa. Lisäksi käytetty Solidworks -versio ei sisältänyt varsinaisesti autosuunnitteluun tarkoitettuja lisäosia.



Kuva 19. Lähikuva alapallonivelestä. Vanteen ET-luku on 50.



Kuva 20. Lähikuva alapallonivelestä. Vanteen ET-luku on 26.

Mallinnuksessa alatukivarren kiinnityspisteet on mallinnettu saranoiksi, niin että ne pääsevät liikkumaan kuten autossa. Pitkittäisen voiman komponentti (kuivissa punainen nuoli) on asetettu vaikuttamaan kohtisuoraan vanteen keskilinjaa kohti. Alapalloniveleen kohdistuu rasiusta, joka on nähtävissä kuvista. Mallinnuksessa kokeiltiin useita erilaisia variaatioita pitkittäisvoimien suhteen. Tämä ei kuitenkaan tuonut olennaista muutosta tukivarren kiinnityskohtiin, joten nämä jätettiin pois.

Kuvista 19 ja 20 käy ilmi alapalloniveleen kohdistuva rasitus eri vanteen ET -luvuilla. Kuvassa 19 vanteen ET on 50 ja alapalloniveleen kohdistuva rasitus, kuvassa turkoosi alue, on $0,7-1,0 \text{ N/mm}^2$. Kuvan 20 vanteen ET on 26 ja vastaavasti alapalloniveleen kohdistuva rasitus on $0,9-1,2 \text{ N/mm}^2$. Alatukivarren kiinnityksiin auton apurunkoon ei saatu aikaan näkyviä rasituksia, useista yrityksistä huolimatta.

4.8 Vanteen ET-luvun vaikutus jarrulevyn toimintaan

Jarrulevyt on valmistettu suomugrafiittivaluraudasta johtuen sen edullisuudesta, hyvästä lämmönjohtokyvystä sekä kulutuskestävyydestä. Valmistuksen kannalta etuja ovat myös hyvä valettavuus ja koneistamisen helppous.

On pyydetty tutkimaan aiheuttaako alkuperäisestä poikkeava vanteen ET-luku vikoja auton jarrujärjestelmään. Suhteellisen yleinen ja kiusallinen vika on jarrujen täriseminen jarrutettaessa. Lähdeluettelossa mainituissa teoksissa ei ollut mainintaa vanteen ET-luvun ja jarrun tärisemisen yhteydestä.

Kun jarrupoljin tärisee sitä painettaessa, diagnosoidaan tämä korjaamoilla lähes poikkeuksetta jarrulevyn kieroutumiseksi. Jarrulevyt ja palat vaihdetaan uusiin, koska nämä osat ovat yleensä hinnoiteltu edullisiksi, suhteessa korjaamon työveloitukseen. On todennäköistä, että suurin osa näistä ”kieroista jarrulevyistä” on virheellisesti diagnosoitu ja kyseessä on todellisuudessa jarrupalan kitkapinnan materiaalin irtoaminen, joka tarttuu epätasaisesti jarrulevyn pintaan kiinni ja näin aiheuttaa epätasaisuutta jarrulevyn pintaan. Tämä epätasaisuus voidaan mitata käyttämällä mittakelloa.

Kylmä ilma ei saa vaikuttaa jarrujen toimivuuteen, oli lämpötila jarrupalan kitkapinnalta mitattuna $-25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ tai $150 \text{ }^{\circ}\text{C}$, on jarrutustehon pysyttävä muuttumattomana. Kylmässä toimiva kitkamateriaali saattaa hajota epätasaisesti kun jarrut toimivat korkeissa lämpötiloissa. Tämä epätasainen hajoaminen aiheuttaa kitkamateriaalin epätasaisen jakaantumisen jarrulevyn pintaan. Kuljettajan painaessa jarrupoljinta suuresta nopeudesta tehdyn pysähdyksen jälkeen, saattaa kuumasta jarrupalasta tarttua ohut kerros jarrupalan kitkamateriaalia.

Teoriassa on mahdollista, että jarrulevyn epätasaiset osat saavuttavat todella korkean lämpötilan (noin 700 °C), jolloin valuraudan hiili reagoi rauta-molekyylien kanssa muodostaen todella kovan ja hauraan sementtiittisen rakenteen jarrulevyn pintaan.

Jarrulevyn pinta on mahdollista ”palauttaa” sorvaamalla levy. Tämä työmenetelmä on kuitenkin nykyaikana todella harvinaista henkilöautojen korjauksessa, suurimpana syynä varaosien edullisuus. Käytännön korjaustoimenpide on jarrulevyjen ja -palojen uusiminen.

Jarrulevyn ja pyörännavan vastinpinnat tulisivat olla ehdottoman puhtaat epäpuhtauksista. Jarrulevyn kiinnitysruuvit, erilliset tai pyörän pultit, on kiristettävä ohjeistuksen mukaisella tavalla ja oikeaan momenttiin. Näiden toimenpiteiden laiminlyönti saattaa vaurioittaa jarrulevyä ja pyörännapaa, jonka kuljettaja saattaa tuntea. (StopTech:n www-sivut 2015)

Metropolian autoalan opiskelijat ovat tehneet tutkimuksen vanteen ET-luvun vaikutuksesta auton alustaan, Oy Ford Ab:n tilaamana. Kohdeautona oli Ford Fiesta 2014. Tutkimuksessa oli mitattu vanteen ET-luvun vaikutusta pyörän napaan kiinnitetyn levyn avulla. Tuloksena on saatu vääntömomentteja eri ET-luvuilla, vääntömomentit vaikuttavat levyn mittauspäihin. Tutkimuksen tulokset ovat teettäjänsä omaisuutta.

4.9 Vanteiden vaikutus maalipintaan

Työn tilaajalla oli esimerkkejä autoista, joissa oli alkuperäisestä poikkeava rengas- ja vannekoko. Autojen kyljissä oli huomattavasti kiven iskujen aiheuttamia maalivaurioita, huolimatta siitä, että autoilla oli ajettu vähän ja niihin oli asennettu roiskeläpät. Autojen vanteen ulkoreuna oli järjestäen yli 10mm ulompana kuin tarkoitettu.

5 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Suurin yksittäinen ajoneuvon käyttöturvallisuuteen vaikuttava virhe tai laiminlyönti tapahtuu pyörän kiinnityksessä. Pyörän kiinnityksessä on ehdottomasti käytettävä valmistajan vaatimusten mukaisia pyöränmuttereita, oikeaa kiristysmomenttia sekä varmistettava, että vanne on sopiva muun muassa keskireikänsä sekä pulttijakonsa puolesta pyörännapaan. Kiinnitys olisi hyvä tarkistaa pienen ajan kuluttua pyörien asennuksesta, näin voidaan havaita mutterien mahdollinen löystyminen tai alun perin liian alhainen kiristysmomentti.

Korjaamolla käytettävät työkalut olisi syytä tarkistaa tasaisin väliajoin. On pidettävä oletuksena, että työkalujen haltija vastaa työkalun päivittäisestä kunnon tarkkailusta sekä huollosta. Paineilmakäyttöisiä mutterivääntimiä pitäisi öljytä aika-ajoin ja huoltaa tarpeen mukaan, jotta niiden tuottama kiristysvoima ei laskisi. Epäkuntoiset työkalut on korvattava uusilla välittömästi. Myös esimerkiksi korjaamon paineilmaverkoston kunto vaikuttaa työkalujen toimintaan. Korjaamon kaluston kunnossapito yksistään olisi oman opinnäytetyönsä aihe.

Pyöränsä itse vaihtavia asiakkaita on neuvottava tutustumaan auton ohjekirjaan sekä suorittamaan vaihtotyö sellaisia työvälineitä ja -menetelmiä käyttäen, jotka eivät aiheuta vaaraa käyttäjälleen tai vahingoita ajoneuvoa. Auton mukana toimitettavat työkalut ovat vain tilapäiseen hätäkäyttöön ja eivät siksi sovellu kausittaiseen renkaan vaihtoon. Kausivaihdon kilpailukykyisellä hinnoittelulla, sekä asioinnin helppoudella voidaan houkutella edellä mainittua asiakasryhmää hoitamaan pyöränvaihto myyjäliikkeessään.

Solidworksin avulla tehty malli ja sen lujuuslaskut eivät anna täydellisen tarkkaa tietoa pyöräntuennan rasituksista, sitä voitaneen pitää kuitenkin suuntaa antavana tarkasteluna aiheeseen. Alapallonivelen kestävyys määrittävät komponentin suunnittelun lisäksi jousittamaton massa ja yleiset käyttöolosuhteet (pölysuojan kestävyys). Työssä esitetty mallinnus on suuresti yksinkertaistettu ja siksi sitä olisikin nähtävä suuntaa antavana kuvituksena. Suunniteltua ET-lukua pienentävien vanteiden käyttö kasvattaa

kääntövierintä sädettä, joka vaikuttaa alapalloniveleen ja ohjauksen niveliin kohdistuviin voimiin.

Pyöränmutterien kuvitus halkaistun vanteen avulla tehtiin, koska sille nähtiin tarvetta. Kuvatun kaltaisia yhdistelmiä esiintyy tasaisin väliajoin. Työn tilaaja, Ford maahan-
tuoja, Oy Ford Ab on hiljattain lisännyt takuun sopimusehtoihin maininnan tyyppihyväksytyjen vannekokojen noudattamisesta.

LÄHTEET

Ford Motor Company:n www-sivut. 2014. Viitattu 13.10.2014. <https://www.corporate.ford.com>

Oy Ford Ab:n www-sivut. 2014. Viitattu 13.10.2014. <https://www.ford.fi>

Helander, P. 1999. Porilaisen autokaupan vuosikymmenet. Pori:Kehitys Oy.

Bosch Autoteknillinen taskukirja. 2003. Helsinki: Autoalan koulutuskeskus Oy.

Hyvärinen, V. 2006. Auto- ja kuljetusalan perusoppi 4 Alusta- ja hallintalaitteet Helsinki: Otava.

Auto Oy Vesa-Matin www-sivut. 2014. Viitattu 27.10.2014. <https://www.vesamatti.net>

Mauno, E. 1991. Virittäjän käsikirja 2 Alusta. Helsinki: Alfamer Oy

Nokian renkaat Oyj:n www-sivut. 2014 Viitattu 19.11.2014 <https://www.nokianrenkaat.fi>

Tuononen, A & Koisaari, T. 2010. Ajoneuvojen dynamiikka. Helsinki: Autoalan Koulutuskeskus Oy

FordEtis-järjestelmä – Fordin teknisten tietojen ja palvelujen online-järjestelmä <https://www.etis.ford.com>

Valtanen, E. Tekniikan taulukkokirja. 2010. Jyväskylä: Genesis-kirjat Oy.

StopTech:n www-sivut. 2015. Viitattu 2.3.2015. [https:// http://www.stoptech.com](https://http://www.stoptech.com)